

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Физико-технический  
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии  
 Кафедра Физико-энергетические установки

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Нейтронно-физический расчет реактора КЛТ-40С в уран-плутониевом ЯТЦ

УДК 621.039.536

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Прец Анатолий Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ	В.Н. Нестеров	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	А.А. Сечина	К.Х.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФЭУ ФТИ	О.Ю. Долматов	к.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2016 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Общекультурные компетенции</b>	
Р1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
Р2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
Р3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
Р4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
Р5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
Р6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</b>
<b>Профессиональные компетенции</b>	
Р7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
Р8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
Р9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
Р10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</b>
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический  
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии  
 Кафедра Физико-энергетические установки

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой ФЭУ  
 \_\_\_\_\_ **О.Ю. Долматов**  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

<b>Бакалаврской работы</b>
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0A2B	Прец Анатолию Андреевичу

Тема работы:

Нейтронно-физический расчет реактора КЛТ-40С в уран-плутониевом ЯТЦ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	18.02.2016 №1333/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.06.2016
------------------------------------------	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b> (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	- Тепловая мощность 150 [МВт] - Ядерное горючее $UO_2+Al$ - Обогащение урана 18,5% - Температура на входе 280 [°C] - Температура на выходе 317 [°C] - ТВЭЛы стержневые с наружным охлаждением - Материалы оболочек ТВЭЛов и кассет Э-110
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	- Стандартный нейтронно-физический расчет активной зоны реактора КЛТ-40С - Определение спектра плотности потока нейтронов путем решения системы многогрупповых уравнений диффузии итерационным способом - Корректировка спектра плотности потока нейтронов на критическое состояние реактора - Оценка длительности кампании ядерного топлива с учетом изменения нуклидного состава ядерного топлива
<b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)	- Презентация - Чертеж ячейки

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	А.А. Сечина
Социальная ответственность	Т.С. Гоголева
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b>	
нет	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	16.05.2016
-------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент кафедры ФЭУ	В.Н Нестеров	К.Т.Н.		16.05.2016

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0A2B	Прец Анатолий Андреевич		16.05.2016

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0A2B	Прец Анатолию Андреевичу

Институт	ФТ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценочная карта конкурентных технических решений.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Иерархическая структура работ. Календарный план-график реализации проекта.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Бюджет научно – технического исследования: - Расчет материальных затрат; - Основная заработная плата исполнителей темы.
4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования	Определение ресурсоэффективности проекта.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
------------------------------------------------------	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	А.А. Сечина	к.х.н.		16.05.2016

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Прец Анатолий Андреевич		16.05.2016

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0A2B	Прец Анатолию Андреевичу

Институт	ФТ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– вредные факторы производственной среды: повышенный уровень электромагнитных полей, отклонение показателей макроклимата от оптимальных, ионизирующее излучение от ПЭВМ;</li> <li>– опасные факторы производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током.</li> </ul>
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность;</li> <li>– пожарная безопасность;</li> <li>– требование охраны труда при работе с ПЭВМ.</li> </ul>

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью;</li> <li>– предлагаемые средства защиты.</li> </ul>
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>

### Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		16.05.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Прец Анатолий Андреевич		16.05.2016



**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический

Направление подготовки (специальность) 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Уровень образования высшее

Кафедра Физико-энергетические установки

Период выполнения (весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.06.2016
------------------------------------------	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.05.2016	<i>Выдача задания</i>	
19.05.2016	<i>Определение состава и принципа действия системы</i>	
26.05.2016	<i>Качественный анализ надёжности системы</i>	
02.06.2016	<i>Построение логического «дерева» отказов</i>	
09.06.2016	<i>Количественный анализ надёжности системы</i>	
25.06.2016	<i>Сдача работы</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ	В.Н. Нестеров	к.т.н.		16.05.2016

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФЭУ	О.Ю. Долматов	к.ф.-м.н., доцент		16.05.2016

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 84 страниц, 7 рисунков, 7 таблиц, 16 источников, 12 приложений, 2 чертежа, 1 спецификация.

Ключевые слова: ядерный реактор; нейтронно-физический расчет; многогрупповой расчет; отравление; нуклидный состав; итерационный метод.

Объектом исследования является водо-водяной реактор малой мощности.

Цель работы – оценка нейтронно-физических параметров реактора КЛТ- 40С в уран-плутониевом ЯТЦ.

В процессе исследования проводились расчеты нейтронно-физических характеристик реактора, произведен расчет финансовой составляющей работы, описаны факторы, влиявшие на выполнение работы.

В результате исследования были получены нейтронно-физические характеристики реактора заданного материального состава, оценено влияние нуклидного состава на воспроизводящие и размножающие свойства активной зоны реактора, рассчитано отравление реактора, длительность кампании топлива, оценена финансовая составляющая работа и описаны внешние факторы, которые влияли на работу.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: ядерный реактор, мощностью 150 МВт, с топливом  $\text{UO}_2+\text{Al}$  и обогащением 18,5% по  $\text{U}^{235}$ , использующий в качестве конструкционных материалов сплав Э-110.

Степень внедрения: высокая; проект может использоваться в настоящее время, при продолжении дальнейших исследований.

Область применения: ядерные реакторы.

Экономическая эффективность/значимость работы высокая.

В будущем планируется продолжение более детального расчета реактора данного типа.

## ПЕРЕЧЕНЬ ОПРЕДЕЛЕНИЙ, ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

Ядерный реактор – устройство, предназначенное для организации управляемой самоподдерживающейся цепной реакции деления, сопровождаемой выделением энергии.

Кампания ядерного реактора – время работы реактора с одной и той же загрузкой ядерного топлива.

Кампания ядерного топлива – время работы топлива в пересчете на полную мощность реактора; время, в течение которого топливо находится в реакторе.

Выгорание ядерного топлива – снижение концентрации любого нуклида в ядерном топливе, вследствие ядерных превращений этого нуклида при работе реактора.

Отравление ядерного реактора – процесс накопления в реакторе короткоживущих продуктов деления, участвующих в непроизводительном захвате нейтронов и тем самым снижающих запас реактивности реактора при их образовании.

ЯР – ядерный реактор;

ЯТ – ядерное топливо;

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;

ТКР – температурный коэффициент реактивности;

ТЭР – температурный эффект реактивности;

ТВЭЛ – тепло-выделяющий элемент;

ТВС – тепло-выделяющая сборка;

НИОКР – научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки;

НТИ – научно-техническое исследование;

РУ – реакторная установка;

ПЭБ – плавучий энергетический блок;

АТЭС ММ – атомная теплоэлектростанция малой мощности.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	15
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	16
1.1 Водно-водяные энергетические реакторы.....	16
1.2 Принципиальное устройство водо-водяного ядерного реактора.....	17
1.3 Краткое описание активной зоны .....	18
1.4 Структура активной зоны и рабочих органов СУЗ, конструкция ТВС ....	20
2 НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ РЕАКТОРА .....	22
2.1 Предварительный тепловой расчет.....	22
2.2 Ядерно-физические характеристики «холодного» реактора.....	25
2.2.1 Расчет концентраций .....	25
2.2.2 Расчет микро- и макросечений для «холодного» реактора .....	26
2.2.3 «Доли» материалов в ячейке.....	29
2.3 Расчет коэффициента размножения для бесконечной среды.....	30
2.4 Расчет эффективного коэффициента размножения .....	35
2.5 Расчет «горячего» реактора .....	36
2.5.1 Зависимость микроскопических сечений от температуры.....	36
2.5.2 Расчёт коэффициента размножения для бесконечной среды.....	39
2.5.3 Расчет эффективного коэффициента размножения .....	39
2.6 Многогрупповой расчет, спектр и ценности нейтронов в активной зоне	41
2.6.1 Подготовка концентраций для многогруппового расчета.....	41
2.6.2 Многогрупповой расчет .....	42
2.7 Отравление.....	45
2.8 Определение спектра плотности потока нейтронов.....	47
2.9 Расчет компенсации реактивности и нормировка плотности потока нейтронов на мощность .....	49
2.10 Изменение нуклидного состава ядерного топлива. Длительность кампании ядерного топлива.....	51

3	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	57
3.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	57
3.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования .....	57
3.1.2	Анализ конкурентных технических решений.....	58
3.1.3	SWOT-анализ.....	59
3.2	Планирование научно-исследовательских работ .....	61
3.2.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	61
3.2.2	Определение трудоёмкости выполнения работ.....	62
3.2.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	63
3.2.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	64
3.2.4.1	Расчёт материальных затрат НТИ .....	65
3.2.4.2	Основная заработная плата исполнителей темы.....	66
3.2.4.3	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....	68
3.2.4.4	Накладные расходы.....	68
3.2.4.5	Формирование бюджета затрат НТИ .....	69
3.2.4.6	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	69
4	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	72
4.1	Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	72
4.2	Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на персонал .....	73
4.2.1	Организационные мероприятия .....	73
4.2.2	Технические мероприятия .....	74
4.2.3	Условия безопасной работы .....	76
4.3	Электробезопасность .....	78
4.4	Пожарная и взрывная безопасность.....	79
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	82
	СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА.....	83

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	84
Приложение А .....	86
Приложение Б .....	87
Приложение В.....	88
Приложение Г .....	89
Приложение Д.....	90
Приложение Е.....	91
Приложение Ж.....	93
Приложение З .....	97
Приложение И .....	104
Приложение К.....	105
Приложение Л.....	106
Приложение М.....	107

## **ВВЕДЕНИЕ**

Большие территории России труднодоступны и находятся вне зоны централизованного энергоснабжения. Для таких регионов ядерная энергетика малой мощности представляет разумную альтернативу традиционной, базирующейся на углеводородном топливе.

Одним из способов повышения конкурентоспособности атомных станций малой мощности является увеличение времени работы до перегрузки топлива.

Поэтому в работе поставлена цель, которая заключается в проведении оценки нейтронно-физических параметров реактора КЛТ-40С в уран-плутониевом ЯТЦ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести стандартный нейтронно-физический расчет активной зоны реактора КЛТ-40С;
- определить спектр плотности потока нейтронов путем решения системы многогрупповых уравнений диффузии итерационным способом;
- провести корректировку спектра плотности потока нейтронов на критическое состояние реактора;
- оценить длительность кампании ядерного топлива с учетом изменения нуклидного состава ядерного топлива.

# **1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

## **1.1 Водо-водяные энергетические реакторы**

Ввиду того, что есть довольно большое количество вариантов реакторов, разработанных для АЭС, одним из распространенных является реактор типа ВВЭР.

Для ядерной энергетики из-за ряда преимуществ наиболее распространены водо-водяные реакторы. Следует отметить, что преимущества реактора типа ВВЭР обусловлены доступностью и отработанностью технологии использования воды, которая активно применяется в различных сферах производства. Вода из-за своих качеств может использоваться непосредственно в виде замедлителя и теплоносителя. Высокая замедляющая способность воды, обеспечивает компактность водо-водяного реактора, в сочетании со слабым рассеянием нейтронов водородом при больших энергиях позволяет обеспечить глубокое выгорание при умеренных обогащениях топлива.

Использование воды в виде теплоносителя и замедлителя позволяет создавать относительно простые по устройству реактора. Также в реакторах типа ВВЭР присуща высокая степень внутренней устойчивости, то есть саморегулируемости, благодаря отрицательному коэффициенту реактивности.

Реакторы типа ВВЭР также обладают рядом недостатков, ввиду использования воды. К недостаткам можно отнести то, что необходимо использовать обогащенное ядерное топливо из-за большого сечения поглощения воды, что ведет к вредному поглощению нейтронов, в следствии этого коэффициент воспроизводства в реакторах типа ВВЭР относительно небольшой.

Использование воды также устанавливает условие на обеспечение высокого давления при энергетически приемлемых температурах. Ограничение тепловых потоков кризисом теплосъема. Также вода обладает высокой коррозионной активностью и сильным взаимодействием с металлическим ураном, что делает необходимым использование нержавеющей конструкционных материалов и двуокиси урана.



## 1.2 Принципиальное устройство водо-водяного ядерного реактора

Рассмотрим устройство ВВР на примере реактора типа КЛТ-40С. Это водо-водяной реактор корпусного типа на тепловых нейтронах, предназначенный для выработки тепловой энергии за счет деления ядерного топлива в активной зоне и передачи полученной энергии теплоносителю первого контура при работе реактора в составе реакторной установки КЛТ-40С.

Реактор и связанные с ним оборудование и системы выполняют следующие функции:

- поддержание управляемой цепной реакции деления ядерного топлива активной зоны на заданных проектными режимами уровнях мощности;
- поддержание давления и температуры теплоносителя первого контура в соответствии с проектными режимами;
- отвод тепла, выделяющегося при работе активной зоны, теплоносителем первого контура на всех проектных режимах;

Основные технические характеристики реактора при номинальном режиме работы приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Основные характеристики реактора

Характеристика	Значение
Тепловая мощность, МВт	150
Расход теплоносителя первого контура через реактор, т/ч	2600
Температура теплоносителя первого контура, °С: на входе в реактор на выходе из реактора	280 317
Давление теплоносителя первого контура, МПа	12,7
Количество РОКГ	5
Количество РОАЗ	4
Количество стержней АЗ в РОАЗ	4
Объем первого контура, м <sup>3</sup>	7,7
Масса с водой, кг	77700
Масса без воды, кг	70000

Конструктивно реактор выполнен в виде сосуда высокого давления с крышкой, в котором размещены активная зона, рабочие органы компенсирующей группы (РОКГ) и рабочие органы аварийной защиты (РОАЗ), а на крышке – приводы исполнительного механизма компенсирующей группы (ИМКГ) и исполнительного механизма аварийной защиты (ИМАЗ), термопреобразователи сопротивления, термоэлектрические преобразователи, предназначенные для измерения температуры в реакторе.

### 1.3 Краткое описание активной зоны

Активная зона установлена в выемном блоке реактора и предназначена для генерирования тепла, получаемого в процессе управляемой цепной реакции деления ядер  $U^{235}$  и передачи его теплоносителю в течение назначенного срока службы без превышения установленного предела эксплуатации по состоянию оболочек тепловыделяющих элементов. Ее основные характеристики приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Основные характеристики активной зоны

Характеристика	Значение
Номинальная тепловая мощность, МВт	150
Назначенный энергоресурс, ТВт•ч	3,3
Масса $U^{235}$ , кг	155,7
Средняя массовая доля $U^{235}$ в уране, %	46,2
Масса гадолиния, кг	36,1
Масса гомогенного бора, г	2,7
Средняя энергонапряженность активной зоны, МВт/м <sup>3</sup>	340
Температура оболочек твэлов в наиболее напряженных ТВС (не более), °С	151 342
Коэффициент запаса до кризиса теплоотдачи (не менее): номинальный с учетом отклонений	1,4 1,2

В качестве топливной композиции ТВЭлов активной зоны используется интерметаллидное соединение урана с алюминием.

Плотность необлученной топливной композиции составляет  $5,1 \text{ г/см}^3$ . В процессе выгорания топлива плотность топливной композиции уменьшается и при плотности накопления продуктов деления  $0,59 \text{ г/см}^3$  составляет примерно  $4,68 \text{ г/см}^3$ . Коэффициент неравномерности распределения топлива по длине ТВЭла не превышает 1,2.

В процессе выгорания скорость размытия увеличивается и при плотности накопления продуктов деления в топливной композиции  $0,59 \text{ г/см}^3$  составляет примерно  $3,7 \cdot 10^{-4} \text{ г/(см}^2 \cdot \text{сут)}$ . Удовлетворительные коррозионные свойства топливной композиции при контакте с водой обеспечивают низкий темп возрастания активности теплоносителя первого контура при наличии случайного производственного дефекта или повреждения оболочек ТВЭлов в аварийных режимах.

Топливная композиция обладает также хорошей совместимостью с материалом оболочки при изготовлении и в рабочих условиях.

В активной зоне используются следующие поглощающие материалы:

- материал на основе гадолиния – в стержнях выгорающего поглотителя (СВП);
- гомогенный бор – в пластинах-вытеснителях;
- специальный борсодержащий сплав и карбид бора – в стержнях АЗ;
- титанат диспрозия и карбид бора – в ПЭЛ.

В качестве выгорающего поглотителя в СВП используется цирконат гадолиния, легированный ниобием, с содержанием гадолиния до 80%.

В качестве поглощающего материала блоков рабочей части стержней АЗ применяются вкладыши из специального борсодержащего сплава, основой которого является сплав диборида хрома и диборида титана, легированный дисилицидом молибдена. Вкладыши имеют удовлетворительные физические и механические свойства и совместимы с материалом оболочки стержней АЗ (сплавом ХН78Т) при температурах до  $900 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## **1.4 Структура активной зоны и рабочих органов СУЗ, конструкция ТВС**

Активная зона судового реактора представляет собой комплекс ТВС, стержней АЗ, гильз под термометры и под стержни АЗ.

ТВС в количестве 241 штуки размещены в выемном блоке по углам правильной треугольной решетки с шагом 72 мм. Между ТВС размещены ПЭЛ системы компенсации реактивности, объединенные в пять рабочих органов (центральный – рабочие органы ЦКГ, два средних рабочих органа СКГ-1 и СКГ-2 и два периферийных – ПКГ-1 и ПКГ-2).

ТВС выполнены в трех конструктивных модификациях (исполнениях):

- основные ТВС – 218 штук, в том числе пять ТВС, в которые устанавливается гильза под термометр;
- ТВС под стержень АЗ – 18 штук;
- ТВС со штоком – 5 штук.

Гильзы под стержень АЗ (18 штук) размещены в ТВС под стержень АЗ. Гильзы под термометр (5 штук) размещены в ТВС под термометр.

Стержни АЗ (16 штук) размещены в гильзах под стержень АЗ и кинематически объединены в четыре рабочих органа АЗ (по четыре стержня в каждом рабочем органе).

Тепловыделяющая сборка состоит из двух частей: кассеты и подвески. Кассета ТВС состоит из пучка твэлов, СВП, РИН, цилиндрических и пластинчатых циркониевых вытеснителей; дистанционирующих решеток; чехла; концевых деталей – головки и втулки; крепежных деталей: конусных колец, гайки, наконечника и др.

Чехол закреплен на головке и втулке с помощью конусных колец и деталей: вверху – гайкой, наверху на головку, внизу – наконечником, наверху на втулку.

Твэл представляет собой гладкостержневую оболочку диаметром 5,8 мм из циркониевого сплава Э-110, заполненную интерметаллидным топливом,

диспергированным в алюминиевой матрице, и загерметизированную с двух сторон заглушками с помощью контактно-стыковой сварки.

СВП представляет собой гладкостержневые оболочки диаметрами 5,8 и 4,5 мм и толщиной стенки 0,45 мм из циркониевого сплава Э-110, заполненные выгорающим поглотителем на основе гадолиния и загерметизированные с двух сторон заглушками с помощью аргонно-дуговой сварки.

Активная зона реакторной установки КЛТ-40С разработана на тех же принципах и с применением тех же конструктивных решений, что и ледокольные активные зоны, подтвердившие высокую безопасность, надежность и работоспособность в натурных условиях эксплуатации. В то же время, являясь дальнейшим развитием ледокольных активных зон в части решений по конструктивному исполнению штоковых ТВС, СВП, РИН, стержней АЗ, пластинчатых вытеснителей, направляющих трубок ПЭЛ, активная зона РУ КЛТ-40С превосходит их по показателям надежности.

### 3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

#### 3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

##### 3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является определение эксплуатационных параметров реакторной установки малой мощности КЛТ-40С на уран-плутониевом ЯТЦ.

Целевым рынком данного исследования, несомненно, будут являться государственные корпорации по ядерной энергетике и научно-исследовательские институты. Примером могут служить такие государственные корпорации как Росатом (Россия), РАН, ОАО «ОКБМ Африкантов», ОАО «НИКИЭТ» им. Н.А. Доллежала.

Сегментировать рынок исследований энергетических установок можно по следующим критериям: масштаб выполненных НИОКР, электрическая мощность установок, результат представлен на рисунке 3.1.

		Электрическая мощность установки		
		От 1 до 20 МВт	От 20 до 200 МВт	От 200 до 1000 МВт
Масштаб выполненных НИОКР	Высокий			
	Средний			
	Низкий			

Рисунок 3.1 – Карта сегментирования рынка услуг по ЯЭУ

В силу исторических и экономических особенностей развития ядерной энергетики сложилась ситуация, при которой наибольшее развитие получили АЭС большой мощности. Некоторые наработки для ядерной энергетики больших мощностей применимы и для АЭС малых и средних мощностей, но существует необходимость прорабатывать особенности эксплуатации и

экономической целесообразности установок малой и средней мощности для увеличения их конкурентоспособности.

### 3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

В данной работе рассматривается водо-водяной энергетический реактор на тепловых нейтронах с использованием дисперсионного топлива в виде диоксида урана в алюминиевой матрице.

Для проведения анализа конкурентоспособности разработки будет использоваться оценочная карта, приведенная в таблице 3.1 из приложения 3. В качестве конкурирующих разработок были приняты:  $B_{к1}$  – КЛТ-40С,  $B_{к2}$  – РИТМ- 200. Рассматриваемая разработка и близкие конкуренты оцениваются по ряду показателей, шкала оценивания представляется собой пятибальную систему. Соответственно при оценке по данной шкале наименее конкурентный показатель будет равен единице, а наиболее конкурентный показатель будет равен пяти. В результате проведения оценки веса показателей, которые определялись экспертным путем, в сумме должны быть равны единице.

Анализ конкурентных решений определяется по формуле [18]:

$$K = \sum_{i=1}^n B_i \cdot B_i, \quad (3.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Из данного анализа видно, что рассматриваемая ЯЭУ не имеет особых преимуществ перед конкурентами, но она более сбалансирована и не уступает обеим ЯЭУ. Основным недостатком ее является то, что установки такого же типа не распространены на рынке из-за особенности применения установок подобного рода.

### 3.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта, который применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Сильные стороны – это то, что характеризует наиболее отличительные или конкурентоспособные стороны научно-исследовательской работы над проектом. Особые с точки зрения конкуренции отличительные преимущества присущие проекту являются свидетельством наличия наиболее сильных сторон. Иначе говоря, под сильными сторонами проекта подразумеваются возможности и перспективы, которыми пользуются для выполнения поставленных целей и задач участниками проекта.

Сильными сторонами данной ЯЭУ можно назвать следующие свойства и особенности установки:

- использование корпусной схемы увеличивает безопасность установки;
- возможность применения одноконтурной схемы с подачей пара теплоносителя первого контура в силовую установку;
- малые габариты установки.

Слабые стороны – это факторы присущие научно-исследовательскому проекту, в которых заключены проблемные вопросы, ряд ограничений в виду которых затрудняется выполнение поставленных задач и целей. К слабым сторонам относится то, что затруднительно сделать в рамках научно-исследовательской работы или недостаток каких-либо ресурсов, перспектив относительно ближайших конкурентов.

Слабыми сторонами разрабатываемой ЯЭУ можно назвать следующие свойства и особенности:

- слабое внедрение на рынок;
- высокое давление при энергетически приемлемых температурах;



- коррозионная активность и сильное взаимодействие с металлическим топливом, что заставляет применять двуокись урана и нержавеющие конструкционные материалы.

Наиболее предпочтительные ситуации на текущий момент или в перспективе, которые могут возникнуть в течении работы над научно-исследовательским проектом, такие как увеличение конкурентоспособности за счет возрастания интереса к проекту, которые ведут к росту актуальности работы над проектом, все это в совокупности относится к возможностям проекта.

К возможностям данной ЯЭУ можно отнести:

- использование установок в труднодоступных регионах, а также на транспортных установках;
- достаточное предложение специалистов на рынке труда;
- разъяснительные работы со стороны государства о безопасности АЭ.

К угрозам относится всякая непредвиденная ситуация, которая сопровождается изменением определенных тенденций при научно-исследовательской работе и несут негативный характер над дальнейшей работой над проектом и его конкурентоспособностью на данный момент или в перспективе. В качестве угрозы для проекта могут выступать ряд проблем и ограничений, которые в последствии несут негативные факторы несущие ущерб для проекта.

К угрозам можно отнести:

- природные катаклизмы: землетрясения, цунами, смерчи, а также аварии транспортных средств, на которых может использоваться данная установка;
- снижение интереса государства к развитию атомной энергетики и ввода новых мощностей;
- угроза диверсионных и террористических действий в отношении ЯЭУ.

В таблице 3.1 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективность разработки.

Таблица 3.1 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		C1	C2	C3
	B1	+	+	+
	B2	–	–	+
	B3	+	–	–

В матрице пересечения сильных сторон и возможностей имеет определенный результат: «плюс» – сильное соответствие сильной стороны и возможности, «минус» – слабое соотношение.

В приложении 3 (таблица 3.2) представлен SWOT-анализ в виде таблицы, так же показаны результаты пересечений сторон, возможностей и угроз.

Проанализировав характер НТР можно сделать вывод, что наиболее оптимальной стратегией выхода разработки на рынок является стратегия совместной предпринимательской деятельности. В свою очередь совместная предпринимательская деятельность – это стратегия, которая основана на соединении общих усилий фирмы с коммерческими предприятиями страны партнера для создания производственных и маркетинговых мощностей. Данная стратегия выбрана ввиду того, что предприятие, заинтересованное в ЯЭУ на российском рынке, одно (Росэнергоатом). В свою очередь, данное предприятие требует тесного взаимодействия с другими производственными компаниями.

## **3.2 Планирование научно-исследовательских работ**

### **3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. К каждой части работы исполнителям устанавливается соответствующая должность.

Распределение участников по определенным видам работ, а также сам поэтапный порядок проведения работы приведен в приложении 3 (таблица 3.3).

### 3.2.2 Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоёмкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоёмкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3 \cdot t_{\text{мин}i} + 2 \cdot t_{\text{макс}i}}{5}, \quad (3.2)$$

где  $t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\text{мин}i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\text{макс}i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i}, \quad (3.3)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожи}$  – ожидаемая трудоёмкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (3.4)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (3.5)$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе необходимо округлить до целого числа.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 96 - 20} = 1,47;$$

$$t_{\text{min1}} = 1, t_{\text{max1}} = 3; t_{\text{ож1}} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8; T_{p1} = \frac{1,8}{1} = 1,8;$$

$$T_{k1} = 1,8 \cdot 1,47 = 3.$$

Все значения, полученные при расчетах по вышеприведенным формулам, были сведены в таблицу 3.4 в приложении 3.

На основе таблицы 3.4 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта и представлен в приложении 3 (таблица 3.5) с разбивкой по месяцам и неделям за период времени дипломирования.

### **3.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)**

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ; основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

### 3.2.4.1 Расчёт материальных затрат НТИ

Расчёт материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (3.6)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 3.6 из приложения 3.

Отсутствие в таблице разделение на источники финансирования говорит о том, что источник один. Источник финансов в данной работе – студент.

Основные работы для ВКР проводились за рабочей станцией в комнате. Время, проведенное за рабочей станцией: 960 часов. Мощность рабочей станции: 0,5 кВт.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} = 2,7 \cdot 0,9 \cdot 900 = 2187, \quad (3.7)$$

где  $C_{эл}$  – тариф на промышленную электроэнергию (2,7 руб. за 1 кВт·ч);

$P$  – мощность оборудования, кВт;

$F_{об}$  – время использования оборудования, ч.

Затраты на электроэнергию составили 2187 рублей.

Данный пункт рассчитывает затраты на приобретения оборудования, используемого в проведении работы. Специальное оборудование, используемое для работы, входит в виде амортизационных отчислений за период использования.

Расчёт амортизационных отчислений ведется по формуле:

$$A = \frac{H_A \cdot C \cdot T_0}{365 \cdot 100} = \frac{33 \cdot 45000 \cdot 120}{365 \cdot 100} = 4882, \quad (3.8)$$

где  $A$  – амортизационные отчисления, руб.;

$C$  – стоимость оборудования, руб.;

$H_A$  – годовая норма амортизации 33%;

$T_0$  – время использования оборудования.

Расчёт отчислений по единицам оборудования приведен в таблице 3.7 из приложения 3.

#### **3.2.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы**

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (3.9)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $З_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) руководителя (лаборанта, студента) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (3.10)$$

где  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, рабочих дней (таблица Ж.1);

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (3.11)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p, \quad (3.12)$$

где  $Z_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{\text{тс}}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – 15-20 % от  $Z_{\text{тс}}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии.

Расчёт основной заработной платы приведён в приложении 3 (таблица 3.8).



### 3.2.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (3.13)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На основании пункта 1 ст. 58 Федерального закона от 24.07.2009 № 212-ФЗ (ред. от 23.05.2015) для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году установлена пониженная ставка – 27,1 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представляются в приложении 3 (таблица 3.9).

### 3.2.4.4 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб.

Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Расчёт накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (3.14)$$

где  $k_{накл}$  – коэффициент накладных расходов, равный 30 %.

Накладные расходы составят:

$$C_{накл} = 0,3 \cdot 38934 = 11680 \text{ руб.}$$

### 3.2.4.5 Формирование бюджета затрат НТИ

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведён в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Расчёт бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	4778
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	38934
3. Отчисления во внебюджетные фонды	10551
4. Накладные расходы	11680
Бюджет затрат НТИ	65943

### 3.2.4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (3.15)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{65943}{65943} = 1.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (3.16)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы в приложении 3 (таблица 3.10).

$$I_{p-учн1} = 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,20 + 3 \cdot 0,05 = 4,25.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{исп.i.}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}} \text{ и т.д.} \quad (3.17)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 3.3) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}. \quad (3.18)$$

Таблица 3.3 – Эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Оценка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25
3	Интегральный показатель эффективности	4,25

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Но так как задача имеет довольно строгие условия, решение имеет лишь один вариант.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Прец А.А., Сапар А.Д. Анализ конструктивных особенностей и эксплуатационных параметров ядерных реакторов малой мощности // VI Школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов, г. Томск: Изд. СТИ НИЯУ МИФИ, 2015. – С. 100.
2. Прец А.А., Сапар А.Д., Куликов М.Г. Оценка размножающих и воспроизводящих свойств реактора КЛТ-40С // Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий, г. Северск: Изд. СТИ НИЯУ МИФИ, 2016. – С. 46-46а.
3. Прец А.А. Сапар А.Д. Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник научных трудов VIII Международной научно-практической конференции. – Томск, 2016. – С. 44.
4. Куликов М.Г., Прец А.А., Сапар А.Д. Оценка флюенса повреждающих нейтронов в графите реактора РБМК-1000 // Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий, г. Северск: Изд. СТИ НИЯУ МИФИ, 2016. – С. 36-36а.